



Licenciatura Noturna em Física
Instituto de Física
UFRJ

PROJETO DE INSTRUMENTAÇÃO FINAL DE CURSO

UMA PROPOSTA PARA O ENSINO DA ÓPTICA NA ESCOLA MÉDIA

Aluno

Gabriel de Almeida Pinheiro Marcello

Orientador

Prof. João José Fernandes de Sousa

Banca de Examinadores

Prof^a Lígia F. Moreira

Prof^a Susana L. de Souza Barros

Prof. Francisco Arthur B. Chaves

Abril 2005

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais Cesar e Graça, pelo sacrifício, incentivo, confiança e demonstração de amor e orgulho.

Ao meu irmão Maurício e à minha avó Sollanjar pelo exemplo de carinho, entusiasmo e fé.

À Gracy, minha querida amada e cúmplice pela alegria e pelo companheirismo.

Aos amigos José e Leandro pelas incontáveis risadas, estudos e preocupações compartilhadas.

Ao professor João José Fernandes pela orientação, incentivo e paciência.

A todos os amigos, tios, primos e parentes queridos que de alguma forma contribuíram e muito me incentivaram para a realização do curso de Licenciatura em Física.

Ao meu inesquecível avô Itú, pela certeza absoluta de sua alegria com a minha realização.

A todas essas pessoas quero, neste momento, expressar meu carinho, minha mais profunda gratidão e o reconhecimento claro da importância que têm em minha vida.

Finalmente, pelo orgulho pessoal e único de ter feito meu curso de Licenciatura em Física, junto a renomados professores, nesta grande instituição, referência nacional de ensino, que é a Universidade Federal do Rio de Janeiro.

SUMÁRIO

UMA PROPOSTA PARA O ENSINO DA ÓPTICA NA ESCOLA MÉDIA

INTRODUÇÃO.....	4
CAPÍTULO I - A Construção do conhecimento e o "Novo" Aluno.....	7
CAPÍTULO II - Os PCN e o "Novo" Aluno.....	9
CAPÍTULO III - A Necessidade da Utilização da História da Ciência.....	12
CAPÍTULO IV - Uma Apreciação Histórica da Óptica para o Ensino Médio.....	15
CAPÍTULO V - Demonstração Experimental como Motivação para o Início do Estudo de Óptica no Ensino Médio.....	19
CAPÍTULO VI - O Desenvolvimento Teórico de Óptica para o Ensino Médio.....	28
CAPÍTULO VII - Modelos que Descrevem a Luz.....	41
CAPÍTULO VIII - O Olho e a Visão	49
CONCLUSÃO.....	53
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	55

INTRODUÇÃO

A óptica geométrica faz da representação do feixe de luz o seu principal método para explicar e aguçar a curiosidade relacionada aos ***fenômenos físicos sensíveis à visão***. A ilusão de presença de água sobre um asfalto quente, o arco-íris cruzando o céu, uma piscina parecendo mais rasa que o real, a fibra óptica, o instrumental da visão, são partes das incontáveis experiências visuais que compõem o cotidiano.

O ser humano está tão familiarizado com a sensação da visão que normalmente não há a consciência de que a propagação e o caminho da luz tratam de uma característica singular. O estudo da luz constitui um exemplo de ciência milenar, pois grandes estudiosos como Huygens, Newton, Young e Maxwell intrigaram-se e buscaram as leis que regem esses fenômenos. Podemos, então, compreender porque, nos últimos três séculos, procuraram-se desenvolver métodos cada vez mais sofisticados para medir o valor numérico da velocidade com a maior precisão possível. A óptica tem uma imensa riqueza histórica que deve ser explorada. Enveredar o ensino para os fatos que aconteceram e entender como foi o contexto histórico, quais os degraus suplantados até atingir o modelo atual, torna-se, então, um elemento a mais no ensino de física.

O professor tem o papel de estabelecer os elos do mundo físico com o raciocínio do aluno, devendo tomar cuidado para que os fenômenos estudados não se fixem na imaginação com erros conceituais. Para tanto deve-se demonstrar o que está sendo estudado. A física é uma disciplina científica com grande aplicação prática. Pode-se utilizar material de baixo custo, e assim, ampliar o uso de demonstrações para favorecer o entendimento de algum assunto servindo-se de pequenos experimentos que podem ser realizados e interpretados pelos alunos.

O curso de física no Ensino Médio é freqüentemente desenvolvido com uma estrutura excessivamente matemática, ou seja, a abordagem da disciplina restringe-se à solução de problemas numéricos. Apesar da física ter logrado seu desenvolvimento utilizando-se da matemática, é mais importante enfatizar para os alunos os aspectos conceituais e históricos, princípios e leis dos fenômenos físicos. Ao trabalhar com textos de motivação histórica e com interpretação de demonstrações experimentais, o estudante estará envolvido mais com os aspectos físicos do que ao resolver um número excessivamente grande de problemas de caráter meramente numérico.

O principal objetivo do ensino atual é estimular o aluno a compreender fenômenos físicos do cotidiano como enfatiza os **Parâmetros Curriculares Nacionais (PCN)**, para superar o modelo tradicional. O desenvolvimento cultural do aluno não é alcançado decorando fórmulas, mas entendendo como se comporta a natureza, e assim possibilitando a interligação com os conhecimentos nas outras áreas. A etapa final da **educação básica** serve para aprimorar o educando como pessoa humana sendo este o principal desafio para os professores.

O estudo da óptica se divide em dois ramos: **Óptica Geométrica** e **Óptica Física**. O primeiro ocupa-se dos fenômenos luminosos, com ênfase na geometria dos raios luminosos, sem a necessidade de um modelo sobre a natureza da luz. O ramo da óptica física, relaciona-se essencialmente com os fenômenos cuja compreensão exige a formulação de uma teoria da natureza da luz. A óptica geométrica é a parte da física que se dedica ao estudo da propagação da luz, sendo importante destacar o papel da visão em nossas vidas, não somente na formação de imagens, mas também na capacidade de percepção que a visão nos proporciona.

Este trabalho propõe o ensino desse conteúdo da física desenvolvida a partir do emprego de demonstrações e da contextualização histórica. A proposta visa a apresentação dos conceitos da óptica de forma que possam dar oportunidade aos alunos de construir conhecimento com o auxílio de situações reais e familiares. Cabe destacar que a proposta não se encerra em si mesma, ela é uma sugestão que pode ser adaptada ou complementada.

Capítulo I

A CONSTRUÇÃO DO CONHECIMENTO E O “NOVO” ALUNO

Os conteúdos da física no Ensino Médio se apresentam como componente fundamental para o desenvolvimento de um aluno crítico, capaz de questionar a veracidade da informação. Quando falamos em questionar, referimo-nos a uma ação direta tanto nos meios de comunicação como no fato de o aluno adquirir uma característica política, ter capacidade de decisão.

Podemos desenvolver o censo crítico do aluno com, por exemplo, uma proposta de questionar e ampliar algum artigo de jornal ou revista que tenha característica científica. Podemos considerar, como exemplo, a revista *Veja* com a notícia “*Novas Janelas para o Céu*”, publicada em 13 de outubro de 2004, que relata o desenvolvimento do turismo espacial. Na notícia são dados alguns elementos como atmosfera, velocidade, altitude, carga máxima e propulsão de uma referida nave espacial, que poderá dar o início ao turismo espacial, comparando-a a um simples Boeing e a um ônibus espacial. No desenvolvimento da matéria é citado ainda, sem muita explicação, que a nave realiza um voo suborbital e não orbital, mesmo atingindo uma altitude de 112Km necessários para um voo orbital.

O aluno deve desenvolver a habilidade de verificar que os conceitos aprendidos em sala de aula estão inseridos na notícia, seja saber o porquê da nave não entrar em órbita, o que é um voo suborbital, qual a relação entre altitude, atmosfera e gravidade.

É importante alunos do Ensino Médio anos não só tomarem conhecimento de fatos, mas também criticá-los e interpretá-los. O desenvolvimento de um método como este não deve ser feito de maneira isolada. É impreterível a interdisciplinaridade para que não

ocorra o desenvolvimento do espírito crítico somente aos meios de comunicação assistemáticos como o rádio, a televisão e o jornal entre outros com informações previamente selecionadas, mas também para formar um indivíduo político, apto a intervir na sociedade. Citando Paulo Freire:

"Uma das grandes, senão a maior tragédia do homem moderno está no fato de que hoje quase tudo é dominado pelas forças dos mitos e comandado pela publicidade organizada, ideológica ou não. Por isso o homem moderno vem renunciando cada vez mais, sem o saber, à sua capacidade de decidir. Vem sendo expulso das órbitas das decisões. As tarefas de seu tempo não são captadas pelo homem simples, mas a ele apresentadas por uma elite que as interpreta e lhes entrega em forma de receita, de prescrição a ser seguida. E, quando julga que se salva seguindo as prescrições, afoga-se no anonimato e sem fé, domesticado e acomodado; já não é mais sujeito. Rebaixa-se a puro objeto. Coisifica-se". (Freire, 1990)

O professor não deve implantar o método mecanizado de repetição de fórmulas e teorias. Apresentar um conteúdo com a demonstração de sua utilidade é o começo para criar um aluno **ativo** e **questionador**. Estimular a curiosidade do aluno é a única maneira de desenvolver seu aprendizado crítico, caso contrário continuarão alunos passivos.

O Ensino Médio deve preparar não só para o prosseguimento dos estudos, mas também para que o aluno possa fazer escolhas e, tanto quanto possível, decidir seu futuro.

Capítulo II

OS PCN E O “NOVO” ALUNO

É comum ouvir em nossos dias que a educação está em crise, que o ensino não acontece mais como no passado. A instrução acadêmica tinha um caráter propedêutico, priorizava-se o conhecimento de teorias e técnicas. Os ***Parâmetros Curriculares Nacionais – PCN*** fazem menção ao fato de que, no passado, o ensino privilegiava “o desenvolvimento do raciocínio de forma isolada, adiando a compreensão mais profunda para outros níveis de ensino”.

Os tempos mudaram, tendências pedagógicas têm surgido e novas tecnologias têm contribuído para o avanço científico. Na década de 90, o surgimento de novas tecnologias produziu um volume de informações que modificou a maneira de ver a educação. Acumular conhecimento não é mais o bastante, é necessário saber utilizá-lo.

“As reflexões e experiências ao longo dos últimos trinta anos foram intensas e extremamente relevantes (...), pois de modo geral indicam que é preciso romper com práticas inflexíveis” (PCN, 1999)

Faz-se necessário formar um cidadão consciente, participativo em seu meio, capaz de usar o conhecimento adquirido para construir um novo conhecimento e assumir o “***papel tanto de usuário como de produtor de novas tecnologias***”(PCN, 1999). Porém, a escola tem preservado uma postura tradicional. Avançou-se muito no discurso, mas, na prática, quase nada mudou.

Os alunos foram acostumados a esperar que a escola ensinasse, porém, nos últimos anos, essa relação tem sido conflituosa. A escola

deixou de ser o único veículo de informação. Pior, ela passou a ser, dentre todos os meios de informação, o menos atraente. O computador, a televisão e o videocassete entraram na escola, mas pouco ou quase nada mudou dentro dela.

"A presença de aparato tecnológico na sala de aula não garante mudanças na forma de ensinar e aprender, (...) a aparente modernidade pode mascarar um ensino tradicional baseado na recepção e na memorização de informações."
(PCN, 1999)

Além disso, a prática docente tem insistido na solução repetitiva de exercícios, que levam apenas a automatização ou memorização. Os conteúdos têm sido ensinados totalmente dissociados da realidade, sem significado para o aluno. Tal postura prioriza uma aprendizagem mecânica e tende a desenvolver no aluno a sensação de que o conhecimento já existe, já está pronto, a ele cabe apenas guardá-lo.

Não se pode ignorar que há no indivíduo o conhecimento adquirido arbitrariamente, decorrente de experiências vividas. O conhecimento é, portanto, uma construção pessoal, cujo agente é o aprendiz.

No Ensino Médio o foco está na interdisciplinaridade e contextualização entre as disciplinas inclusas na área de Ciências da Natureza, Matemática e suas Tecnologias. A construção e compreensão de conceitos físicos não estão dissociados das demais áreas de conhecimento. Muitas dificuldades que surgem no aprendizado da física têm origem nas deficiências que os alunos apresentam no desenvolvimento do raciocínio lógico, na capacidade de abstrair, sendo necessário ao professor desenvolver um método que

possa transpor essa barreira para alcançar o bom entendimento do aluno.

Conhecer as causas das dificuldades apresentadas pelos alunos do Ensino Médio e refletir sobre elas podem contribuir para que o aprendizado aconteça de maneira prazerosa e eficiente, fazendo do aluno um ser ***agente do processo de construção*** e não apenas um ***espectador passivo***.

Nesse aspecto, os PCN trazem grande contribuição para o processo educativo quando propõem a interdisciplinaridade e a utilização de experimentos juntamente com o desenrolar do conteúdo. Quando as disciplinas são trabalhadas de forma desarticulada, o aluno restringe o que aprendeu, sem perceber que a ciência é única e totalmente dependente em seus ramos de estudo.

É necessário entender que a aprendizagem se dá pela elaboração de pensamento e capacidade de abstração, de modo que não podemos confundir contextualização com informações superficiais, que prejudicam a qualidade e o rigor que as disciplinas exigem. Necessário ainda entrever a interdisciplinaridade como junção de linguagens de mais de uma disciplina, confrontando conhecimentos em busca de uma melhor compreensão do mundo, e não simplesmente enxergá-la como uma maneira de ultrapassar os limites de entendimento de uma única disciplina.

Capítulo III

A NECESSIDADE DA UTILIZAÇÃO DA HISTÓRIA DA CIÊNCIA

A maneira com que o homem vê o mundo e como com ele se relaciona, sempre foram grandes atrativos para a curiosidade humana. Os homens sempre buscaram explicações sobre como se comporta a natureza. Nos últimos 500 anos a ciência tem sido seu principal instrumento para desvendar o mundo que o cerca. A história pode nos ajudar a conhecer a dinâmica de formação deste conhecimento e nos informar sobre o contexto em que foi construído o conhecimento científico.

O indivíduo da atualidade que desconhece a sua própria história acaba por construir uma visão fragmentada da maneira de ver o mundo, porque lhe faltam chaves para interpretar e dar sentido a datas, teorias e desenvolvimento de algum conhecimento específico. Em geral, ignora-se como os fatos têm se sucedido ao longo do tempo, não se mostram quebras das barreiras formadas por conhecimentos, que na verdade não estavam completamente corretos.

“A história da ciência pode trazer uma certa aproximação entre os homens, da mesma forma que outras modalidades de pesquisa. Apesar de sua forte inclinação para figurar como panacéia para os problemas do ensino das ciências, a história da ciência ainda nos parece uma ilustre desconhecida” (Bizzo, 1992)

No estudo da física, encontramos um conteúdo histórico muito rico com relação à sua utilização para motivação do aluno, que pode entender que o conhecimento é construído com o passar do tempo, devido aos constantes questionamentos que acabavam por iluminar as

mentes dos pensadores de cada época na formação de leis, modelos e teorias que hoje regem nossos conhecimentos. Na óptica temos um encadeamento de fatos históricos quando falamos das medições da velocidade da luz e de sua natureza, ficando claro que a ciência não é um produto acabado, fruto da genialidade de mentes brilhantes, mas está em constante transformação .

“ É essencial que o conhecimento físico seja explicado como um processo histórico, objeto de continua transformação e associado às outras formas de expressão e produção humanas” (PCN, 1999)

É essencial que o aluno perceba que a ciência tem uma história, que os conceitos que hoje são reconhecidos pela comunidade científica não surgiram do nada, mas são resultados de um processo de construção acompanhado de conflitos e quebra de paradigmas. Como exemplo temos o **Geocentrismo**. Aceito como verdade por cerca de dois mil anos, foi substituído pelo **Heliocentrismo**, graças à ampliação de um conhecimento já existente.

Falar em história da ciência não é dizer que algum cientista é brilhante e altamente inteligente, mas é demonstrar a modificação da ciência com a utilização de conhecimentos anteriores. A construção da ciência não é feita por um único homem, é aperfeiçoada fazendo-se valer de um conhecimento específico pré-existente. Logo, nenhum cientista deve ser citado com uma conotação heróica, característica comum nos livros didáticos. Quando a história da ciência é explorada, é feita de forma objetiva, como no exemplo a seguir:

" Snell era matemático e astrônomo, e com sua genialidade descobriu a lei da refração, que só veio a ser divulgada em 1703 pelo físico holandês C. Huygens "(Alvarenga,1999).

Apesar das informações estarem corretas, prefiro uma formulação que transmita a verdadeira idéia de dificuldade e demora na formulação da lei da refração que C. Huygens não apenas publicou mas ampliou, dando-lhe uma formulação matemática, o que só foi possível pelo fato de ter utilizado a descoberta anterior feita por Snell.

Caracteristicamente a história da ciência não é desenvolvida juntamente com o conteúdo, não servindo como apoio pedagógico. A história é abordada de maneira pontual, apresentando curiosidades como datas e nacionalidade dos cientistas, sem características concretas do acontecimento estudado. Sua utilização deve encaminhar e desenvolver algum assunto específico da ciência, deixando de ser puramente cultural, pois dessa maneira tem grandes possibilidades de ser esquecida.

Acreditamos que a dificuldade em trabalhar com a história, está, essencialmente, na maneira de desenrolar o trabalho. É preferível que o professor utilize textos que encadeiem os fatos e, quando possível, tente despertar a atenção do aluno utilizando a "contação de história", que pode servir, também, para dinamizar e contextualizar a aula.

Capítulo IV

UMA APRECIÇÃO HISTÓRICA DA ÓPTICA PARA O ENSINO MÉDIO

Pode-se começar a abordagem do tema em aula analisando como a interpretação e o conhecimento das características da luz foram sendo modificadas ao longo dos séculos. Com uma apreciação histórica, começamos a introduzir elementos como o feixe luminoso, reflexão, refração, meios de propagação, dando um apanhado superficial do conteúdo a ser estudado. O professor, de maneira introdutória, pode explicar estes elementos, que são imprescindíveis para o bom entendimento da óptica no Ensino Médio, passando, também, a idéia de que a ciência se constrói e está em constante transformação.

Para este desenvolvimento histórico, começamos com a seguinte pergunta: ***O que é luz?*** Sabemos que todo objeto percebido é visto como luz, quer por ele emitida, quer dele refletida, porém esta pergunta manteve o homem intrigado por séculos. Para respondê-la devemos, primeiramente, fazer outras indagações como: ***Qual a origem da luz? Qual a sua natureza? Como se propaga?***

Um exame metódico feito há séculos atrás, chegando a duas conclusões principais: aquela da ***Escola Pitagórica*** que presumia que todo objeto visível emitia partículas de forma instantânea e aquela da ***Escola Aristotélica*** que, por outro lado, defendia que a luz propagava-se como uma onda.

Ainda que essas idéias fossem modificadas, vinte séculos mais tarde a controvérsia, que tem como essência a dúvida, continuou. Uma teoria sustentava que a luz e a energia propagavam-se como ondas que se difundem pela superfície de um líquido parado. A outra argumentava que a luz era um conjunto orientado de partículas, como sucessivas gotas de água de uma mangueira. Hoje sabemos que a luz

comporta-se como onda e partícula, e essas duas qualidades são aspectos complementares de uma única realidade.

Os antigos filósofos gregos, pelo método da observação, descobriram que a luz se propagava em linha reta. Heron de Alexandria fez a segunda descoberta importante sobre a luz. Fazendo experiências com espelhos, Heron observou que todo feixe luminoso que incidia com um ângulo no espelho, retornaria com ângulo igual, tomando como base a reta normal. Essa observação levou à seguinte lei básica: **o ângulo de incidência e o ângulo de reflexão são iguais**. Muitos sábios continuaram a meditar sobre a natureza da luz, porém até o início do século XVII o progresso nesse campo foi lento.

Durante séculos outro fato estranho, mas óbvio, vinha sendo observado: um bastão reto colocado obliquamente na água não mais parecia reto a um observador. A parte submersa parece inclinar-se em outra direção. Em 1621, um matemático holandês, Willebrord Snell, explicou finalmente esse fenômeno ao observar que um raio de luz que deixa um meio transparente e penetra em outro, muda geralmente de direção na superfície de separação dos meios. Uma parte é refletida de acordo com a lei de Heron. A outra parte continua dentro do segundo meio. O motivo do bastão parecer desviar-se na entrada do segundo meio é que os raios luminosos que levam sua imagem aos olhos mudam subitamente de direção. Este fenômeno chamado de **refração**.

Mas se os raios luminosos são desviados quando entram na água, não é esse um fato que contradiz a idéia original dos gregos de que a luz se propaga em linha reta? O que Snell indica é que a luz pode desviar-se ao entrar em um novo meio. A luz propagava-se em linha reta no ar e ao incidir na água muda sua direção, mas, dentro dela continua em linha reta. Snell tentou medir essa deflexão em várias substâncias transparentes tais como ar, vidro e água. Descobriu que cada uma variava na quantidade de luz que podia desviar. E deu, então, o nome de refração para a própria deflexão. Demorou muito para

elaborar o princípio da refração, porque esta parecia extremamente complicada, até que descobriu mais um elemento: ***o ângulo de incidência da luz também tem a ver com a quantidade de refração***. Pesquisadores posteriores conseguiram dar valores numéricos (chamados "***Índices de Refração***") à propriedade de desvio dos raios.

A formulação matemática que conhecemos atualmente para os fenômenos observados por Snell deve-se ao também holandês Christian Huygens, que postulou que o índice de refração de qualquer matéria é determinado pela velocidade com que a luz a atravessa. Ele imaginava a luz como um fenômeno ondulatório e pensou, então, que quanto maior o índice de refração da matéria, menor seria a velocidade de propagação da luz nesse meio.

Outra característica da refração é que o desvio da luz refratada não depende apenas do meio, mas também da cor da própria luz. Um raio de luz vermelho sofre menor deflexão que um raio de luz azul, quando inclinado sobre uma mesma lâmina de vidro de faces paralelas. Deve-se ao físico inglês Isaac Newton a formulação de outra propriedade básica da luz, qual seja, que a luz branca é composta por todas as cores. Newton passou um estreito feixe de luz por um prisma numa sala escura, projetou os raios emergentes num painel e observou uma série de cores que começa, numa extremidade, com o vermelho, passando pelo alaranjado, amarelo, verde, azul e anil, terminando no violeta, no outro extremo (***espectro***). Por fim, Newton isolou as cores e demonstrou que nada se podia fazer para modificá-las. Assim, concluiu que a natureza da luz não se altera ao atravessar um vidro.

A partir desta apreciação histórica, podemos ver a óptica como um conhecimento desenvolvido com o tempo. Os fenômenos ópticos apresentados acima podem ser comprovados em sala de aula com demonstrações dos conceitos físicos comentados. A maneira como o professor desenvolve sua aula, com conceitos históricos é individual, não há padrão a ser seguido. O texto acima, é uma sugestão para

iniciar um assunto extenso e que, por várias vezes é trabalhado de forma abstrata, sem ligação entre os fenômenos observados e as teorias que os explicam e a forma com que o conhecimento foi desenvolvido.

Capítulo V

DEMONSTRAÇÃO EXPERIMENTAL COMO MOTIVAÇÃO PARA O INÍCIO DO ESTUDO DA ÓPTICA NO ENSINO MÉDIO

A utilização de demonstrações paralelamente à apresentação dos conteúdos com ênfase numérica é importante para a formação de uma cultura científica efetiva. Propomos nesta monografia a adoção de atividades experimentais simples que possibilitem que o próprio aluno.(Valadares. 2000)

Existe uma série de dificuldades levantadas pela maior parte dos profissionais de educação, para que não utilizem a motivação experimental no ensino de física. A falta de laboratório é a principal dificuldade. Entretanto, esse fato não deve servir como impasse para o enriquecimento de uma aula. Não se justifica o fato de a maioria dos professores programarem suas atividades sem a preocupação com a parte experimental, que cabe mais à formação do professor do que da estrutura física da escola.

Nesta monografia analisaremos o conteúdo introdutório da óptica com um simples trabalho experimental a ser desenvolvido pelo professor ou pelo aluno, a fim de apresentar os princípios e fenômenos luminosos que servirão de base para estudos posteriores envolvendo este conteúdo.

Com uma lanterna e uma cartolina podemos facilmente construir um projetor de feixes luminosos, bastando fazer uma fenda na cartolina de aproximadamente 2mm e colocá-la na lente da lanterna. Outra opção para produzir feixes luminosos é usar um apontador laser em vendedores ambulantes. Com esse experimento simples, é possível demonstrar a maneira como se propaga a luz e exemplificar os fenômenos de reflexão e refração. O material necessário é um espelho

inoxidável para o lugar dos espelhos côncavo e convexo.. Para a refração utilizamos lentes, lembrando que é muito fácil existir em uma família alguém que use óculos, ou que tenha uma lupa para leitura.

Supondo, a princípio, que o aluno não conheça os conceitos físicos relacionados com a óptica, podemos fazer experimentos que os demonstrem. Utilizamos um aparato experimental e perguntas (indagações), a serem ampliadas de acordo com a necessidade do professor e que podem levar às conclusões esperadas.

Como exemplo de utilização do laser, apresenta-se na **experiência I** uma demonstração de reflexão da luz com um espelho plano. Na **experiência II** continuamos com o experimento da reflexão, porém com espelho esférico, tirando proveito das faces de uma colher de metal polido com superfície espelhada. Para mostrar o fenômeno da refração (**experiência III**) pode-se fazer variações quanto ao tipo de lente. Neste trabalho utilizamos a lupa (lente convergente).

REFLEXÃO DA LUZ

Ao ligar o laser vemos o feixe de luz laser se propagar em linha reta. Para promover a visualização do feixe podemos jogar um pouco de pó de giz na passagem da luz. Nesta atividade estudaremos o fenômeno em que o raio luminoso é refletido ao atingir uma superfície.

Apêndice I - Espelho Plano

Toda superfície lisa e plana que reflete especularmente luz é denominada espelho plano. Quando um feixe de luz encontra uma superfície lisa, o feixe refletido é bem definido.

Material Utilizado (Fig. 1):

- 1 canhão de luz laser
- 1 folha de isopor (1cm)
- caneta
- 1 estilete
- 1 espelho plano
- 1 régua
- fita adesiva



Figura 1

Montagem

a) O espelho plano é posicionado de forma que fique na vertical em relação ao isopor, utilizando o estilete para fazer a base de apoio do espelho, de acordo com a Figura2.



Figura2

b) Prende-se o espelho com uma fita adesiva e no isopor uma folha de papel branco que já contenha o desenho de uma reta (podemos chamá-la de RI). Colocamos o laser sobre o desenho da reta, conseguindo um raio de luz longo, estreito, o mais nítido possível.



Figura 3

c) Com uma caneta e régua é traçado uma nova reta, coincidente com o raio (RR) desviado pelo espelho (Figura 4). Obtém-se, então, um desenho semelhante ao da Figura 5.



Figura 4



Figura 5

d) Para uma melhor visualização do desvio da luz, pode-se escurecer a sala de aula (Figura 6).

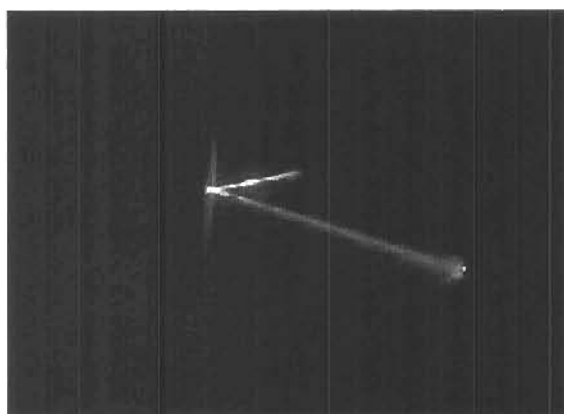


Figura 6

A reta que determina a direção do raio produzido pelo laser e que chega ao espelho é chamada de Raio Incidente. A reta produzida após ser desviada pelo espelho é chamada de Raio Refletido.

Modificando as Condições Físicas.

Questão 1:

O que acontece quando variamos a direção do raio incidente?

Questão 2

O que podemos fazer para que o raio refletido tenha a mesma direção do raio incidente. Quando isso ocorre, o que os diferencia?

Quando o raio incidente coincide com o raio refletido, dizemos que passaram pela reta normal que é uma reta imaginária perpendicular ao espelho. A normal à superfície é a referência para a medição dos ângulos de incidência e reflexão.

Questão 3

Para cada posição do espelho existe uma única direção para o raio refletido?

Questão 4

Iluminando uma folha branca ocorrerá reflexão? Em que direção?

Quando um feixe de luz incide em uma superfície irregular, cada parte da superfície reflete em uma determinada direção, logo o feixe refletido não é bem definido, observando-se o espalhamento da luz. Dizemos, então, que ocorre difusão da luz pela superfície. Assim, várias pessoas conseguem enxergar ao mesmo tempo um objeto, apesar de estarem situados em posições diferentes em relação a ele, pois um objeto reflete a luz que incide sobre ele em todas as direções.

Experiência II - Espelho Esférico

Pesquisadores interessados nos efeitos das altas temperaturas, cozinham aço usando a luz do sol concentrada por espelho esféricos. Na Índia, com espelhos não tão caros, donas de casa preparam as refeições. Espelhos esféricos podem concentrar toda luz incidente sobre sua superfície num mesmo ponto, denominado foco.

Material Utilizado (Fig.7)

- 2 canhões de luz laser
- 1 folha de isopor
- 1 estilete
- 1 colher
- fita adesiva

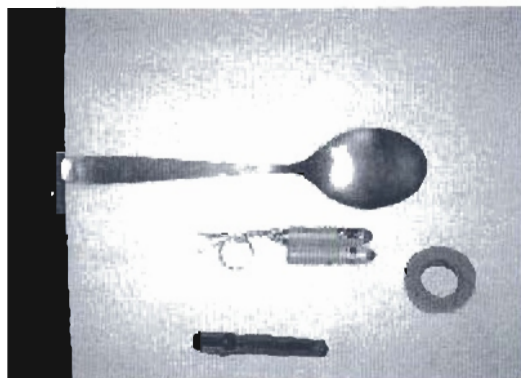


Fig. 7

Montagem

a) A colher é posicionada de forma que fique na vertical em relação ao isopor, utilizando o estilete para fazer a base de apoio da colher, de acordo com a Figura 8.



Figura 8

b) Dois canhões de luz são presos com fita adesiva, de forma que os raios emitidos saiam paralelos.

c) Os lasers são posicionados para que ligados os raios projetados incidam paralelos na concha da colher. Os raios podem ser incididos tanto na parte interna (Figura9) quanto na externa (Figura10).



Figura9

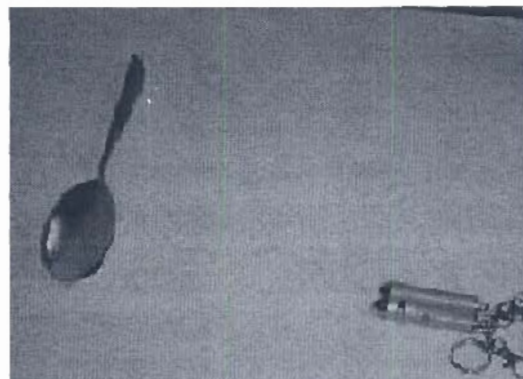


Figura10

A parte interna da colher (espelho côncavo) e a parte externa (espelho convexo) apresentam características distintas. O primeiro converge os raios incidentes (Figura 11) e o segundo os diverge (Figura 12). Para melhor visualização dos resultados, a sala de aula poderá ser escurecida.

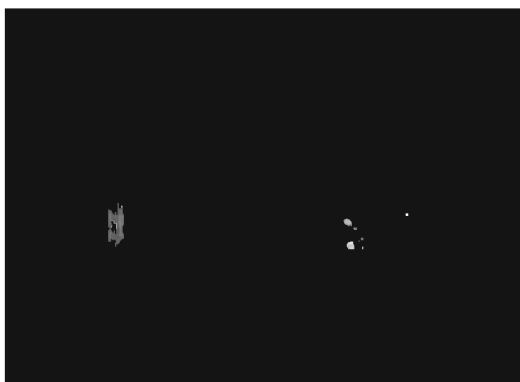


Figura11



Figura12

Devemos notar que, no espelho côncavo, raios paralelos ao apoio passam pelo mesmo ponto que é chamado de foco real. Já no espelho convexo, o foco é virtual, pois está situado no ponto de encontro dos prolongamentos dos raios refletidos que estaria situado atrás do espelho.

Modificando as Condições Físicas.

Questão 1

O que acontece quando variamos a direção do raio incidente?

Questão 2

Podemos fazer o raio refletido ter a mesma direção do raio incidente?

Quando isso ocorre, o que os difere?

Questão 3

Se afastarmos os canhões de luz, o foco muda de posição?

Experiência III – Lente

Quando um feixe de luz, propagando-se no ar, encontra uma superfície de bloco de vidro, parte do feixe é refletida e parte penetra

no bloco. A parte do feixe que se reflete já foi estudada nas Experiências I e II. Agora vamos estudar o feixe que se propaga no vidro.

Material Utilizado (Fig. 13):

- 2 canhões de luz laser
- 1 folha de isopor
- 1 estilete
- 1 lupa
- fita adesiva



Fig.13

Montagem

a) A lupa é posicionada de forma que fique na vertical em relação ao isopor, utilizando o estilete para fazer a base de apoio da lupa, de acordo com a Figura 14.



Figura14

b) São presos, com fita adesiva, dois canhões de luz de forma que os raios luminosos fiquem paralelos. Utilize pequenos calços de isopor para centralizar os feixes.

c) Os lasers são posicionados para que os raios incidam na lupa (Figura 15).

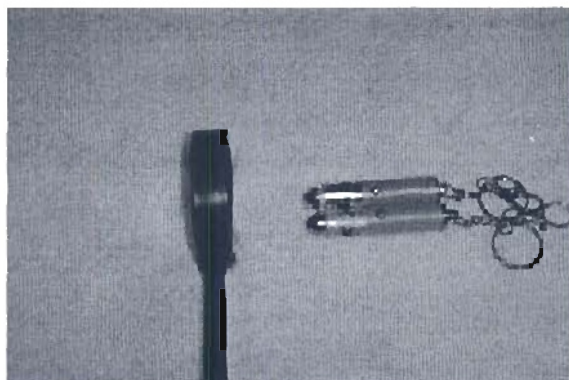


Figura15

O fenômeno óptico em que os raios luminosos mudam de meio, causando mudança na direção de propagação, é chamado de Refração. Um exemplo muito motivante deste fenômeno é o que acontece com a luz solar ao anoitecer: mesmo depois que o sol está abaixo da linha do horizonte, continuamos a receber sua luz e vê-lo em virtude da refração dos feixes de luz na atmosfera. O mesmo acontece com o amanhecer.

As lentes que apresentam as extremidades mais finas do que a parte central, são chamadas de **convergentes** (convergem os raios para o mesmo ponto chamado foco) e as que apresentam as extremidades mais espessas do que a parte central, são as **divergentes** (divergem os raios de tal modo que seus prolongamentos se encontram no mesmo ponto chamado foco).

d) Com os canhões ligados, pode-se observar o desvio da luz. Para melhor visualização podemos escurecer a sala de aula (Figura 16).



Figura16

Modificando as Condições Físicas.

Questão 1

Qual a lente utilizada? Por quê?

Questão 2

Se incidirmos luz do outro lado da lupa, que alteração ocorre?

Questão 3

Se afastarmos os canhões de luz, o foco muda de posição?

Capítulo VI

O DESENVOLVIMENTO TEÓRICO DA ÓPTICA PARA O ENSINO MÉDIO

Hoje não existe mais uma discussão polarizada se a luz é formada por partículas ou se é uma onda. É constituída de **Fótons**, partículas de massa nula e momentum linear, mas exibe complementarmente um comportamento de natureza ondulatória. O conceito de fóton será posteriormente. Podemos agora transcrever uma citação de Einstein:

Qualquer físico julga saber o que é um fóton. Eu passei a minha vida a tentar saber o que é um fóton e ainda hoje não sei. (Rocha, 2002)

A luz é um fenômeno eletromagnético originado pela aceleração de cargas elétricas. É uma onda eletromagnética que transporta energia e se propaga com velocidade mais baixa quando passa do vácuo para outros meios.

A origem da luz é, enquanto onda, semelhante à origem do som. Enquanto o som é produzido a partir de oscilações mecânicas, a luz se origina de oscilações de cargas elétricas, sendo que estas últimas se propagam no vácuo.

Materiais Transparentes e Opacos

Quando a luz é transmitida através da matéria, alguns elétrons dentro dos átomos sofrem indução eletromagnética e são forçados a oscilar. Assim, a maneira como o material responde à incidência de luz depende da frequência natural dos elétrons no material.

Quando uma onda ultravioleta incide sobre um vidro, ocorre absorção ressonante de energia e as vibrações dos elétrons alcançam grandes amplitudes. Isso ocorre porque os elétrons dos átomos do vidro possuem uma frequência natural que se situa na faixa do ultravioleta. Os átomos ressonantes do vidro absorvem e retêm no material a energia da luz ultravioleta na forma de calor. Assim o vidro não é transparente à luz ultravioleta, é opaco. Caso incida luz que apresente frequências mais baixas que a ultravioleta, haverá pouca transferência de energia na forma de calor e a energia dos elétrons oscilantes será reemitida como luz. Por isso o vidro torna-se transparente a todas as frequências do espectro visível. Caso a frequência decresça até a faixa do infra-vermelho, de novo o vidro torna-se opaco.

A maioria dos objetos ao nosso redor é opaca, pois absorve a luz sem reemitir-la. Armários, livros e pessoas são opacos. As vibrações dos seus átomos em presença de luz são transformadas em energia interna. Esses corpos ganham calor, pois a energia absorvida é transferida a outros átomos na forma de energia térmica, não sendo reemitida como luz, mas dependendo agora da reflexão.(Guimarães e Fonte Boa,1998)

Os metais apresentam elétrons livres para se movimentarem pelo material. Quando a luz incide sobre o metal e coloca seus elétrons livres em vibração, sua energia não passa de átomo para átomo através do material, mas em vez disso, ela é refletida. Eis o motivo de os metais serem brilhantes e quando polidas tornarem-se espelhados.

Cor dos Corpos

Na maioria das vezes, os objetos que nos rodeiam são vistos por reflexão da luz. São os chamados **corpos iluminados** como, por exemplo, um livro, um carro, pessoas. Outros corpos apresentam luz própria como, por exemplo, o sol, uma lâmpada, o carvão em brasa,

sendo chamados de **corpos luminosos**. Então, para se ver um corpo é necessário que ele emita ou reflita luz.

Certas substâncias possuem uma frequência natural para absorver ou emitir radiação eletromagnética com valores bem definidos de frequência. Num determinado material os elétrons absorvem a energia da radiação eletromagnética em certas frequências, enquanto outros materiais entram em ressonância com outras frequências. Normalmente um objeto absorve luz de certas frequências e reflete as restantes. Se um material absorve a maior parte da luz visível que nele incide, mas reflete o vermelho, por exemplo, ele aparece como vermelho. Este é o motivo pelo qual vemos uma flor vermelha ao lado de uma folha verde. Os átomos que formam a flor absorvem todas as luzes visíveis, com exceção do vermelho, que é refletido, enquanto a folha reflete o verde e absorve as demais. Um objeto que absorve toda a luz que nele incide, nada refletindo, aparece como negro. Se um material reflete luz de todas as frequências visíveis, aparece com a cor da luz que incidiu nele. Dentro da faixa de frequência da luz que incide num corpo, parte da energia é absorvida e parte é refletida. A cor de um corpo corresponde à sensação que as frequências da luz por ele refletida provocam na retina. (Mueller e Rudolph, 1970)

No mesmo trabalho que apresentou a idéia sobre a composição da luz branca, Newton desenvolveu um estudo sobre as cores dos objetos. O cientista afirmava que *“as cores de todos os corpos da natureza são devidas simplesmente ao fato de que elas refletem a luz de uma certa cor em maior quantidade do que as outras”*. A teoria das cores de Newton encontrou violenta oposição por parte de vários cientistas da época, especialmente o físico R. Hooke. As objeções causaram-lhe grandes dissabores, tanto que resolveu não mais divulgar seus trabalhos, permanecendo vários anos em quase completo isolamento. Somente quatorze anos mais tarde, Newton decidiu publicar a sua famosa obra *“Princípios Matemáticos da Filosofia Natural”*. Entretanto, para publicar seu trabalho *“Opticks”*, contendo

suas teorias sobre as propriedades da luz, ele aguardou a morte de seu opositor.

Anteriormente a Newton outros filósofos da natureza já haviam observado que as cores do arco-íris aparecem numa parede quando a luz solar atravessa um prisma. A teoria aceita presumia que alguma coisa no vidro mudava as propriedades celestiais da luz, dando-lhe cor. Newton acreditava que o prisma simplesmente decompunha a luz em suas componentes cujas cores foi por ele próprio denominado de espectro. Ele provou a validade dessa teoria passando os raios separados através de um segundo prisma e recombinao-os na luz branca.

Além da já mencionada oposição, grandes figuras da época defenderam a visão de Newton, como exemplo o francês François Voltaire que escreveu: "Há neste mundo um diabo de Newton que descobriu quanto o sol pesa e de que cor são os raios que compõem a luz. Esse estranho homem virou minha cabeça." (Rocha, 2002)

Princípios da Óptica Geométrica

A trajetória de um raio de luz, representação básica para o estudo da Óptica Geométrica, se fundamenta em três princípios:

1. Em meios homogêneos a luz se propaga em linha reta. Foi o que vimos na demonstração experimental, quando jogamos pó de giz na passagem do laser.
2. A trajetória dos raios independe do sentido da propagação, como aconteceu quando modificamos as condições para que o raio refletido tivesse a mesma direção do raio incidente.
3. Cada raio de luz se propaga independentemente dos demais. Podemos ver isto cruzando a luz proveniente dos dois raios lasers: uma luz passa como se a outra não existisse.

Reflexão da Luz

A reflexão dos raios luminosos é percebida em virtude da mudança de direção da luz ao incidir sobre a superfície dos corpos. Podemos comparar visualmente com o desvio que uma bola sofre quando é lançada numa mesa.

A visão dos objetos acontece graças ao fenômeno da reflexão. Um objeto qualquer, a menos que seja uma fonte em si mesma, permanece invisível senão for iluminado. Os raios luminosos que provêm de uma fonte de luz se refletem na superfície dos objetos e alcançam nossos olhos. É uma característica muito importante da reflexão da luz o fato de tornar qualquer corpo uma fonte secundária de luz.

De acordo com as características da superfície refletora, a reflexão luminosa pode ser regular ou difusa. A reflexão regular ocorre quando as superfícies são lisas e polidas, como exemplo uma lâmina metálica que reflete ordenadamente a luz. Em geral a reflexão é difusa, pois as superfícies dos corpos são irregulares. É possível afirmar que não existe superfície perfeitamente polida, o que existe são superfícies cujas irregularidades produzem reflexão difusa desprezível. Além disso o polimento é importante, mas não o suficiente para um bom espelho. É preciso que o material seja um bom refletor de luz, com baixo índice de absorção. É interessante lembrar ainda que há superfícies que não precisam ser polidas. A água que é um excelente exemplo, pois é capaz de formar uma superfície espelhada dependendo da luminosidade do ambiente e do ângulo de incidência dos raios de luz.

Princípio de Fermat e a Lei da Reflexão

Ao ir de um lugar para outro, a luz escolherá o percurso mais eficiente e se propagará em linha reta. Isso é verdade se nada obstruir a passagem da luz entre os lugares considerados. Essa idéia foi

formulada pelo cientista francês Pierre Fermat e é chamada de Princípio de Fermat do Mínimo Tempo. Podemos compreender como a reflexão obedece a este princípio da natureza descoberto por Fermat.

Na figura 17 vemos dois pontos **A** e **B** com um espelho abaixo deles. Qual seria o caminho para a luz ir de **A** até **B** no mínimo tempo, acrescentando que a luz deva passar pelo espelho antes de chegar até **B**? Teria que ir o mais rápido possível de **A** até o espelho, e daí para **B**. Como podemos encontrar o ponto exato de incidência sobre o espelho para o qual o tempo para se completar o percurso seja o menor possível? É fácil encontrá-lo empregando um artifício geométrico muito interessante.

Marcamos um ponto artificial, **B'**, no outro lado do espelho, a uma distância abaixo do mesmo e com a mesma distância de **B** ao espelho (figura18). A distância mais curta entre **A** e este ponto artificial **B'** é muito simples de determinar: trata-se de uma linha reta. Esta linha reta intercepta o espelho no ponto **C**, o ponto exato onde se dá a reflexão no mínimo caminho. Um exame cuidadoso mostra que a distância entre **C** e **B** é igual a distância entre **C** e **B'**.

Um pouco de raciocínio geométrico mostrará que o ângulo da luz incidente de **A** para **C** é igual ao ângulo de reflexão de **C** para **B**. Esta é a lei da reflexão: **O ângulo de incidência em relação à normal da superfície é sempre igual ao ângulo de reflexão.**

A lei da reflexão é ilustrada na figura 19, com setas que representam os raios de luz. Em vez de medir os ângulos de incidência e reflexão, é costume medi-los em relação à linha perpendicular ao plano da superfície refletora, chamada de **normal** à superfície daquele plano. O raio incidente, a normal e raio refletido repousam sobre o mesmo plano.

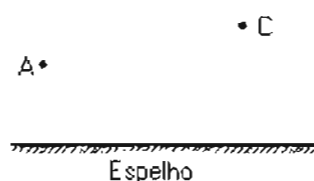


Figura 17

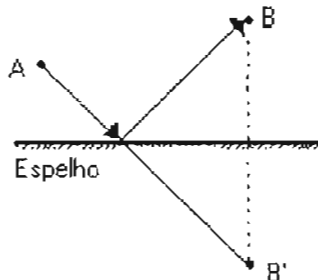


Figura 18

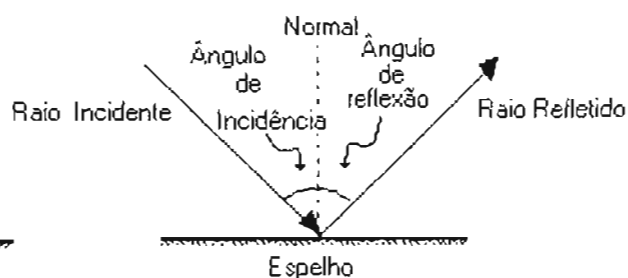


Figura 19

Espelhos Planos

Suponha que a chama de uma vela esteja localizada em frente a um espelho plano. Os raios de luz são emitidos pela chama em todas as direções. Infinitos raios saem da ponta da vela radialmente. Quando esses raios encontram o espelho, são refletidos em ângulos iguais aos ângulos de incidência. Os raios divergem a partir da chama e, sob reflexão, também divergem a partir do espelho. Esses raios divergentes parecem sair de um ponto situado atrás do espelho. Um observador enxerga a imagem da chama estando neste ponto. Mas os raios de luz não provêm realmente deste ponto, razão pelo qual a imagem é denominada imagem virtual. A imagem está atrás do espelho com a mesma distância que o objeto está do espelho, sendo que a imagem e o objeto tem o mesmo tamanho.

Qualquer pessoa ao se olhar num espelho plano percebe que sua imagem, embora pareça idêntica a ela, apresenta uma interessante diferença: se a pessoa erguer a mão direita, a imagem aparecerá como se fosse a mão esquerda. Dizemos, então, que imagem e objeto no espelho plano apresentam formas contrárias.

Quando o espelho é curvo, os tamanhos e as distâncias do objeto e da imagem, até o espelho, não são mais iguais, porém a lei da

reflexão se mantém válida. Um espelho curvo comporta-se como uma sucessão de espelhos planos, cada um deles com uma orientação diferente. Em cada ponto o ângulo de incidência é igual ao ângulo de reflexão. Observando, ainda, que, diferentemente do que ocorre nos espelhos planos, as normais em diferentes pontos da superfície não são paralelas entre si.

Se um espelho é plano ou curvo, o sistema da visão não pode revelar a diferença entre um objeto e sua correspondente imagem refletida. Assim, a ilusão de que existe um objeto atrás do espelho deve-se ao fato que a luz vinda do objeto entra no olho exatamente da mesma maneira como ela entraria se o objeto estivesse na posição da imagem.

Refração da Luz

A rapidez de propagação da luz é menor no vidro e em outros materiais transparentes do que através do espaço vazio. A luz se propaga em materiais diferentes em diferentes valores de rapidez. Num diamante, a luz se propaga com cerca de 40% do valor de sua rapidez no vácuo. Quando a luz sofre um desvio ao atravessar obliquamente de um meio para outro, ele sofre o fenômeno chamado Refração. É comum observar que um raio luminoso se curva e toma um percurso mais longo quando incide obliquamente na água ou vidro. Mas o caminho mais longo escolhido, apesar disso, é o caminho que requer o mínimo tempo para ser percorrido pela luz. Um caminho em linha reta requeria mais tempo.

Índice de Refração (n)

Podemos entender o significado físico de índice de refração, ao analisarmos o desvio que a luz sofre quando passa do ar para água. Índice de refração entre dois meios mencionados é a razão entre a velocidade da luz no ar e a velocidade da luz na água ($n = c/v$).

No vácuo a luz atinge sua velocidade máxima, cujo símbolo é c , valor limite para qualquer velocidade no universo. Por essa razão, quando a luz passa do vácuo para determinado meio, o índice de refração desse meio em relação ao vácuo é, por definição, o **índice de refração absoluto** desse meio. Logo a comparação entre a velocidade da luz no vácuo e a velocidade da luz em um meio qualquer é denominado índice de refração.

Leis da Refração

Sabemos que a luz ao passar de um meio para outro tem sua velocidade alterada; na maioria das situações a direção da propagação da luz também se altera. Vamos estabelecer as leis que regem o fenômeno da refração luminosa. A figura abaixo nos mostra o caso geral de raio de luz monocromático propagando-se, inicialmente no meio 1, incidindo na superfície de separação entre o meio 1 e o meio 2, sofrendo uma refração luminosa e passando a se propagar no meio 2.

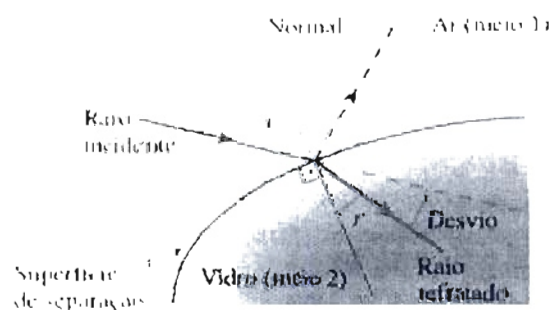


Fig. 20(Carron,2005)

A refração luminosa obedece a duas leis:

1ª) O raio incidente, o raio refratado e a normal à superfície, no ponto de incidência, são coplanares.

2ª) Para cada par de meios (1 e 2) e para cada cor de luz, temos:
 $n_1 \cdot \text{sen } i = n_2 \cdot \text{sen } r$ (lei de Snell- Descartes), logo se a inclinação do raio incidente for modificada, alteram-se os valores dos ângulos de incidência e de refração.

Em conclusão podemos estabelecer que se a luz se propaga do meio menos refringente para o meio mais refringente, o raio de luz se aproxima da normal. Reciprocamente, quando a luz se propaga do meio mais refringente para o menos refringente, o raio de luz se afasta da normal.

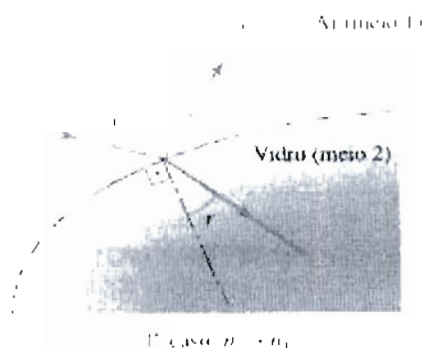


Fig. 21(Carron,2005)

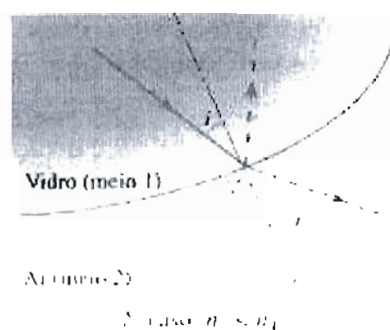


Fig. 22(Carron,2005)

Reflexão Total

Ao tomar banho de piscina dispondo de uma lanterna a prova d' água pode-se constatar o fenômeno da reflexão interna total. Para tanto, esperamos escurecer, apontamos a lanterna submersa diretamente para cima e, então, lentamente a inclinamos em direção à superfície. Observa-se como a intensidade do feixe luminosa emergente vai diminuindo e como cada vez mais a luz é refletida da superfície da água para o fundo da piscina. Para um determinado valor de ângulo, chamado **ângulo crítico**, notar-se-á que o feixe luminoso não mais passará da água para o ar, através da superfície. A intensidade do feixe tende a zero quando ele tende a tangenciar a superfície do líquido. O ângulo crítico é o valor mínimo do ângulo de incidência dentro de meio para o qual a luz é completamente refletida. Quando um feixe luminoso for inclinado além do ângulo crítico notar-se-á que toda a luz é refletida de volta para a piscina. A luz incidente na superfície obedece às leis da reflexão: o ângulo de incidência é igual ao ângulo de reflexão.

A reflexão interna total embasa o funcionamento das fibras óticas, ou tubos de luz. Uma fibra ótica é capaz de “encanar” a luz, levando-a de um lugar a outro por meio de uma série de reflexões internas totais, de forma muito parecida com uma bala que se desloca ricocheteando ao longo de um cano de aço. Os raios luminosos ricocheteiam ao longo das paredes internas da fibra, acompanhando as dobras e voltas que existem. Feixes de fibras feitas de vidro ou plástico flexível são utilizados para enxergar lugares inacessíveis, tais como o interior de um motor ou de um estômago de um paciente. Elas podem ser fabricadas com tamanho tão minúsculo que podem entrar nos vasos sanguíneos ou tubos como a uretra. As fibras são também importantes em comunicações porque oferecem uma alternativa prática aos fios de cobre e aos cabos.

Refração Atmosférica

A atmosfera não é um meio homogêneo, tornando-se cada vez mais rarefeita e, portanto, menos densa, à medida que se afasta da superfície da Terra. Quanto menor a densidade menor, o índice de refração. Como consequência, um astro é visto em uma posição diferente da que realmente ocupa, já que a luz proveniente do astro, ao penetrar na atmosfera terrestre, vai passando de camadas menos refringentes para camadas sucessivamente mais refringentes, desviando-se de sua direção original, até atingir o observador.

A ilusão de existência de poças d'água em estradas asfaltadas em dias quentes e secos, assim como a ocorrência de *miragens* no deserto, são fatos que podem ser explicados pela variação do índice de refração do ar atmosférico com a temperatura. Nas condições em que acontecem tais fenômenos, o ar em contato com o solo fica mais quente e, por isso, menos refringente que as camadas superiores. Então, os raios luminosos que partem de um objeto a distância, ao descenderem, passam de regiões mais refringentes para regiões menos refringentes, até sofrerem reflexão total numa camada próxima ao solo.

aparente da, os raios seguem o mesmo caminho em sentido contrário, dando a impressão de que existe no solo uma imagem especular do objeto.



Fig. 23 (Ueno, 2005)

Dispersão Luminosa

Se um feixe de luz branca incidir na superfície de separação entre dois meios, como por exemplo na superfície livre da água, ao se refratar, o feixe se abrirá num leque multicolor. A luz violeta é a componente que mais se desvia em relação à normal, e a luz vermelha é a componente que menos se desvia. Isso ocorre porque o índice de refração da água depende da cor da luz, sendo máxima para a luz violeta e mínima para a luz vermelha. O fenômeno é chamado dispersão luminosa.

Nas figuras a seguir vemos esquematizada a dispersão para apenas uma superfície e depois acentuada num prisma.

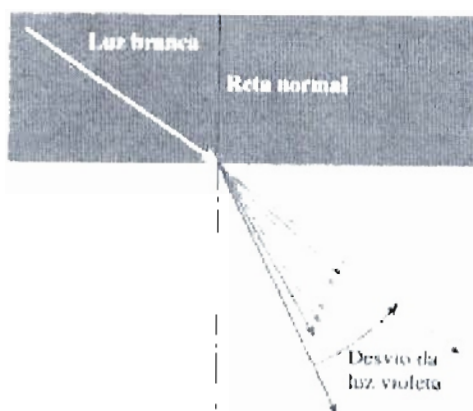


Fig. 24(Carron, 2000)

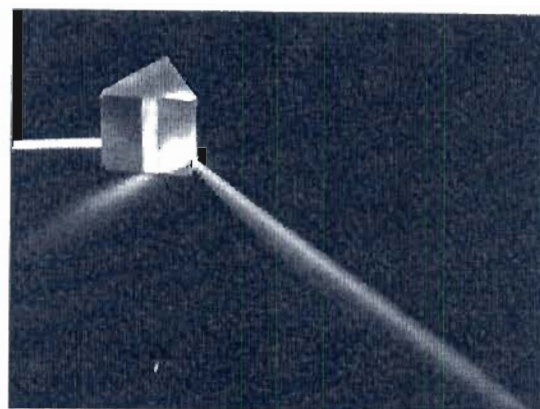


Fig. 25(Carron, 2000)

A dispersão da luz solar em gotículas de água, suspensas no ar, e a posterior reflexão no interior delas determinam a formação do **arco-íris**. Nele a região mais externa aparece vermelha, e a mais interna, violeta. Entre esses extremos, aparecem as outras cores na seguinte ordem: alaranjada, amarela, verde, azul e anil. Isso acontece porque a luz vermelha emerge de cada gotícula de chuva com ângulo maior que aquele pelo qual emerge a luz violeta.

Capítulo VII

MODELOS QUE DESCREVEM A LUZ

A evolução dos conhecimentos científicos pode servir de forte estímulo para os alunos do Ensino Médio em qualquer estudo da ciência. Na óptica, que é motivada por ser a parte da física que estuda a luz e a visão, temos um rico episódio histórico na busca pelo correto valor da velocidade da luz e na forma como ela se propaga.

A física é uma atividade humana em constante transformação ao longo dos tempos, o mesmo ocorre com os vários modelos que caracterizam a luz. Podemos notar isto nos experimentos criados para alcançar maior precisão nas medições da velocidade da luz e na melhor explicação de sua natureza.

Medição da Velocidade da Luz

Se há algo que sempre intrigou a imaginação dos estudantes é como se comporta, o que é, quanto vale, como surge a luz. Vale a pena introduzir o estudo da óptica com estas perguntas as quais podem ser respondidas com a ajuda da abordagem resumida do processo histórico vivido para chegar ao valor atual da velocidade da luz.

O primeiro a animar-se em medir o valor da velocidade da luz foi Galileu. De forma inteligente, iniciou o método científico, utilizando-se da experimentação, investigação e observação. Ele e um assistente foram cada um em uma colina dispondo de suas respectivas lanternas. O que se queria fazer era medir o tempo necessário para a luz percorrer, na ida e volta, a distância entre os dois. Galileu descobria sua lanterna enquanto seu assistente, ao perceber a luz, descobria também a sua própria lanterna. Sabendo a distância entre as colinas e

o tempo do percurso, Galileu chegaria ao valor da velocidade da luz. A experiência fracassou, pois como a velocidade da luz é muito grande, o intervalo de tempo a ser medido é muito menor que as flutuações do tempo de reação do observador, além de ser impossível medir um intervalo de tempo extremamente pequeno.

A primeira realização física em que se verificou a finitude da velocidade da luz foi elaborada pelo astrônomo dinamarquês Ole Roemer (1644-1710) após a morte de Galileu. Era conhecido que um dos satélites de Júpiter era eclipsado em torno desse planeta e que o tempo entre um eclipse e outro era de 42,5 horas. A partir desse período constante almejava-se construir um relógio exterior à Terra. Porém, seis meses mais tarde esse relógio ficava atrasado em relação à hora local (pois o eclipse ocorria depois do previsto) e nos seis meses seguintes adiantava-se e voltava a ficar certo, inviabilizando seu uso como padrão. Roemer interpretou que a Terra em seis meses muda sua posição em relação à órbita de translação ao redor do Sol e, assim, a luz proveniente do satélite de Júpiter deveria percorrer um caminho mais longo. O atraso observado devia-se à distância que a luz deveria gastar para percorrer a distância equivalente ao diâmetro da órbita de translação da Terra em torno do Sol. Sabendo este diâmetro e o valor do tempo de atraso, Roemer, ainda no século XVII, encontrou o valor 200.000 Km/s, bem próximo daquele que conhecemos atualmente. (Halliday, Resnick e Walker, 2003)

A primeira medição feita na Terra foi realizada pelo físico francês Louis Fizeau (1819-1896). Com boa precisão, Fizeau conseguiu determinar a velocidade da luz montando numa colina em Paris uma fonte de luz e um sistema de lentes. A luz refletida por um espelho semitransparente poderia ser focalizada no espaço entre dois dentes de uma roda dentada. Numa outra colina, Fizeau montou um espelho para refletir a luz, dirigindo-o para o observador na primeira colina. A roda com baixa velocidade de rotação impedia, com seus dentes, que a luz fosse observada. Aumentada a velocidade da roda, a luz ficava

visível e passava pelo espaço entre os dentes. Conhecendo o número de rotações por segundo e o número de dentes, Fizeau obteve facilmente o valor do tempo (t). Como a distância (d) entre a roda e o espelho era conhecida, foi possível obter o valor da velocidade da luz (c) com a relação $c = 2 d/t$, encontrando 313.000 Km/s.

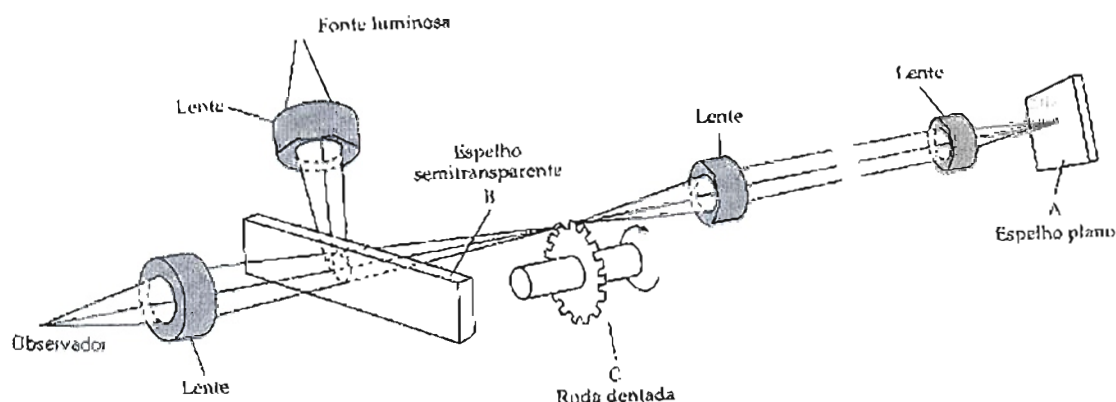


Fig.26 (Tipler,1995)

Leon Foucault (1819-1868), outro cientista francês, aperfeiçoou o modelo de Fizeau, substituindo a roda dentada por um espelho girante. Foucault mediu a velocidade da luz no ar e na água, mostrando que na água a velocidade era menor. Este resultado causou grande impacto na época, pois de acordo com os modelos de Newton a luz se propagaria nos meios materiais com velocidade maior do que no vácuo. Em 1862 Foucault obteve o valor de 298.000 Km/s, bastante próximo do atual.(Tipler,1995)

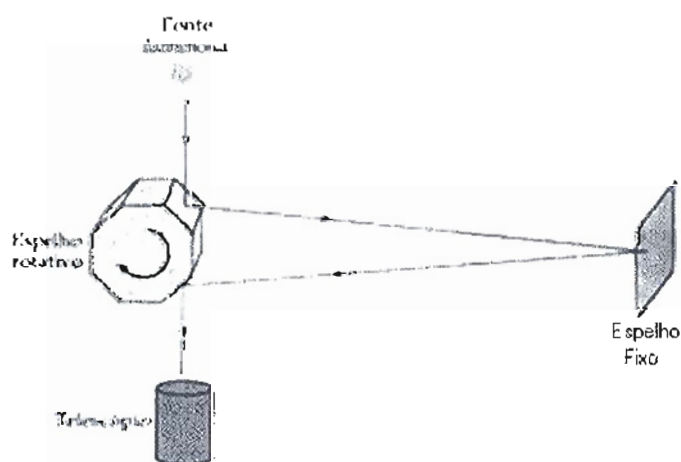


Fig.27 (Tipler,1995)

Com o mesmo mecanismo, o americano Albert Michelson (1952-1931), que dedicou cerca de 50 anos à tarefa de determinar a velocidade da luz, teve como últimas medições o valor de 299.770 Km/s.(Jafe,2003)

Graças a continuidade destes trabalhos, a velocidade da luz é um dos valores que se conhece com maior precisão no campo da física. Analisando cuidadosamente os trabalhos dos inúmeros cientistas que se dedicaram a medir esta grandeza, os físicos chegaram à conclusão de que, atualmente, o melhor valor para representar a velocidade da luz é 299.792,5 Km/s.

Natureza da Luz

O estudo da luz constitui um exemplo de ciência milenar. Com Arquimedes no século III antes de Cristo, utilizava-se para fins bélicos os conhecimentos sobre a propagação da luz nos espelhos e lentes. Sem noção elaborada de qual seria a natureza da luz, primeiro via-se a necessidade de observar para depois conhecer seu comportamento e posteriormente utilizar com diversos propósitos que tinham aplicação prática. A partir do século XVII a natureza da luz torna-se objeto de conhecimento científico com importância singular.(Rocha,2002)

O desenvolvimento das idéias sobre a natureza da luz constitui um exemplo de como foi a evolução das teorias e modelos científicos à medida em que se consolida o conceito de ciência com os dados experimentais afirmando as novas idéias.

As concepções sobre a luz deram origem a duas grandes correntes do pensamento científico: a que defendia que a luz era constituída de partículas (**Modelo Corpuscular**), e a que era favorável à hipótese de que a luz seria uma onda (**Modelo Ondulatório**). Esta divisão de opiniões tornou-se célebre na história da física, pois

envolveu os modelos de Huygens descritos em 1690 e os de Newton publicados em 1704

Modelo de Newton

Isaac Newton (1642-1727) dedicou-se com vivacidade aos fenômenos associados à luz e à cor. Em meados do século XVII publicou sua teoria, cuja aceitação se estenderia durante um longo intervalo de tempo. Newton afirmava que o comportamento da luz na reflexão e refração poderia ser explicado supondo-a como uma corrente de partículas emergindo num meio.

Newton chamou atenção para o fato de que pequenas esferas colidindo contra uma superfície lisa são refletidas de tal modo que o ângulo de incidência é igual ao ângulo de reflexão, exatamente como acontece com a luz. Portanto, para o fenômeno da reflexão seria válido considerar um feixe de luz como constituído por um conjunto de partículas que se refletem elasticamente.

Com relação ao fenômeno da refração, Newton utilizou o ar e a água, constatando que um feixe luminoso propagando-se no ar se refrata ao penetrar na água, aproximando-se da normal. Segundo Newton, isto ocorre porque as partículas que constituem o feixe, ao se aproximarem da água, seriam atraídas por uma força que provocaria mudança na direção do movimento. Observou ainda que, como consequência desta ação, as partículas teriam sua velocidade aumentada ao penetrarem na água, logo o modelo corpuscular determinava que a velocidade da luz na água seria maior do que no ar.

Modelo de Huygens

O físico holandês Christian Huygens (1629-1695) dedicou seus esforços a demonstrar que a luz tem característica ondulatória. Com o tempo tornar-se-ia o grande rival das Teorias de Newton.

O modelo criado por Huygens descreve satisfatoriamente fenômenos luminosos, tais como uma onda qualquer se reflete e refrata seguindo as mesmas leis de um feixe luminoso. Assim as duas teorias sobre o comportamento da luz apresentavam-se igualmente válidas, sendo muito difícil optar por uma delas a partir dos experimentos disponíveis. Entretanto, no início do século XIX, foi possível observar com a luz os fenômenos da interferência e da difração (característico do movimento ondulatório). O fato de ser possível observá-lo com feixes luminosos apresentava-se como uma evidência favorável ao comportamento ondulatório. Apesar disso, em virtude do grande prestígio de Newton, o comportamento corpuscular continuava a ser aceito pela comunidade científica da época.

Thomas Young, médico que se tornara físico, era grande admirador de Newton, defendia a natureza da luz com característica ondulatória. Young fez uma engenhosa experiência para testar essa hipótese. Sabia que se uma fonte de luz monocromática fosse dirigida para uma lâmina opaca, com duas fendas pequenas, a luz que sairia do outro lado, incidindo no anteparo, se espalharia. Caso as duas fendas estivessem bem juntas uma da outra, então os feixes divergentes de luz se justaporiam no anteparo. Mas um outro ponto qualquer do anteparo, executando-se o ponto de luminosidade máxima, não mais estaria equidistante das duas fendas. A onda da fenda mais próxima seguiria um percurso menor que a onda da fenda mais distante e, conseqüentemente, uma onda chegaria um pouco antes da outra. Em qualquer ponto do anteparo, então, os comprimentos das diferentes trajetórias fariam com que uma onda ficasse inteiramente fora de fase com a outra. Nesse ponto as ondas anular-se-iam e o resultado seria uma linha escura. A experiência obteve êxito total. O que Young observou no anteparo foi uma série de linhas claras e escuras, causada pelo reforço e pela anulação das ondas que chegam em diferentes tempos. Além de chamar atenção para o comportamento e forma das ondas, o êxito de Young foi um poderoso argumento a favor da teoria ondulatória.

Em 1862, um acontecimento importante dava fim a esta disputa que vinha se prolongando por mais de 150 anos. Como foi mencionado, Foucault conseguiu medir a velocidade da luz na água, verificando que seu valor era menor do que no ar, enquanto a teoria de Newton, conforme vimos, previa exatamente o contrário. As idéias de Newton sobre a natureza corpuscular da luz foram abandonadas, pois levavam a conclusões que estavam em desacordo com os resultados experimentais.

A Luz como Onda Eletromagnética

James Clark Maxwell em 1865 procurou esclarecer em que consistiam as ondas luminosas. Ao desenvolver sua teoria demonstrou matematicamente a existência de campos eletromagnéticos que, da mesma maneira que a onda, poderiam propagar-se tanto no espaço vazio quanto no meio material.

Maxwell identificou as ondas luminosas com suas teóricas ondas eletromagnéticas, estabelecendo que estas deveriam se comportar como aquelas. Reconheceu, então, a luz como um imenso e contínuo espectro de radiação eletromagnética. A comprovação experimental de tal conceito veio em 1888 com o físico alemão Henrich Hertz que conseguiu situar no espaço os campos magnéticos que foram os precursores das atuais ondas de rádio.

Posteriormente, uma grande variedade de ondas eletromagnéticas de diferentes comprimentos de onda foram descobertas. Com a evolução nos arranjos experimentais, mostrou-se a insuficiência do modelo ondulatório para descrever plenamente o comportamento da luz.

Os Fótons de Einstein

Max Planck, ao estudar os fenômenos da absorção de radiação eletromagnética por parte da matéria, forçado pelos resultados dos experimentos, admitiu que corpos aquecidos não absorvem energia radiante de forma contínua, mas sim como pacotes discretos de energia que foram denominados **quanta de energia**. De acordo com Planck a energia de cada pacote é proporcional à frequência da radiação. Essa hipótese iniciou uma revolução nas idéias que mudou por completo a maneira segundo a qual se pensa a respeito do mundo físico.

Em 1905, Albert Einstein, publicou um artigo merecedor de prêmio Nobel que desafiava a teoria ondulatória da luz, argumentando que a luz interage com a matéria não como ondas contínuas, como Maxwell havia visualizado, mas como minúsculos “pacotes” de energia que nós agora chamamos de fótons. Mas essa descoberta não eliminou as ondas luminosas, ao invés, ela revelou que a luz é tanto onda como partícula.(Hewitt,2002)

A teoria ondulatória conseguiu pleno êxito ao explicar uma variedade de fenômenos -interferência, difração, polarização- que não podiam, ser explicados pela teoria corpuscular. A resposta para explicar todos os fenômenos surgiu de uma complexa teoria física chamada **mecânica dos quanta**, desenvolvida pelos esforços conjuntos de alguns dos maiores homens da física moderna: Max Planck, Niels Bohr, Louis de Broglie, Werner Heisenberg, Erwin Svrödinger, Max Born, e outros. De modo geral a teoria mostra como a radiação eletromagnética pode ter ambas as características: **ondulatória** e **corpuscular**. Dependendo do experimento podemos observar um ou outro comportamento.

Capítulo VIII

O OLHO E A VISÃO

Diversos conceitos da física podem ser aplicados utilizando como exemplo o corpo humano. As articulações servem para ilustrar o momento de uma força. O coração bombeando sangue pode ser descritos por conceitos de pressão e fluxo de fluidos. Da mesma forma o funcionamento do Olho deve ser explorado no estudo da óptica, servindo-se do caminho dos raios de luz para a formação da Imagem, que pode ser distorcida caso o olho tenha alguma deformidade.

O contato do homem com o mundo está ligado prioritariamente com a visão. Para quase todos os animais, a visão é um meio de sobrevivência. Para o homem é também um instrumento de pensamento e melhoria de vida. Um pintor recorre à imagem de um quadro para expressar algo sem a utilização das palavras. Cientistas, que se deparam com conceitos difíceis de transmitir verbalmente, utilizam fórmulas matemáticas.

Um cachorro olhando fixamente a imagem de outro numa fotografia espanta-se ou simplesmente é incapaz de compreender o motivo desta situação, enquanto o homem transforma uma imagem em compreensão e significado. A utilização da visão para o ser humano lhe permite ordenar e entender os elementos cada vez mais presentes em seu ambiente. Graças aos seus olhos, seu cérebro é capaz de formular certas perguntas e de criar meios para dar-lhes respostas.

O olho humano é altamente versátil. Pode identificar um bola a 200 metros de distância e imediatamente mudar o foco para ler um cartão afastado apenas alguns centímetros. Consegue, também, adaptar-se rapidamente às mudanças de intensidade luminosa e distinguir milhares de variações de cor.

Comparado a uma câmara fotográfica ou a um telescópio, o olho sofre limitações ópticas. Embora seja amplo o seu horizonte visual, ele somente vê com bastante luz. À luz fraca vê mal e perde toda percepção de cor. Considerando mecanicamente, o olho é um instrumento que capta e focaliza imagens por meio dos raios luminosos, registrando-as em sua face posterior.

A luz atravessa a córnea, uma membrana transparente situada na frente do olho. Em virtude de sua forma arredondada, a córnea funciona como uma lente convexa. Atrás dela, uma cortina circular colorida formada por músculos, chamada íris, que abre e fecha como o diafragma de uma câmara fotográfica, com o objetivo de regular a quantidade de luz que entra no olho. O pequeno orifício redondo no centro da íris é a pupila. A luz atravessa-a e chega a um corpo transparente, o cristalino, cuja forma pode ser alterada pelo músculo ciliar, que é ligado a ele por pequenas fibras ciliares.

O controle da forma do cristalino por seus músculos tem por finalidade focalizar a luz exatamente na retina, uma membrana sensível à luz e situada no fundo do olho. As células fotossensíveis da retina convertem a energia luminosa em sinais que são levados ao cérebro pelo nervo óptico. No meio da retina há uma pequena depressão denominada fóvea, que é onde a visão é mais nítida.

A coróide e a íris, que são ricamente supridas de vasos sangüíneos, nutrem uma parte do olho, assim como o humor aquoso, líquido que banha a frente do olho entre a córnea e o cristalino. Finalmente, o humor vítreo, líquido gelatinoso e transparente que enche o interior do globo ocular, ajuda o olho a conservar sua forma.

A quantidade de luz que incide no olho deve ser controlada e dirigida para dentro, a fim de formar uma imagem nítida na retina. Esta tarefa de controle e direção da luz é feita principalmente pela córnea que por ser curva desvia a luz para a retina na forma de raios

convergentes. Quando perfeita, a córnea é um dos tecidos mais transparentes do corpo, mas alguma lesão pode levar à cegueira ou provocar distorções, como exemplo a catarata.

A íris situa-se atrás da córnea, como uma cortina atrás da janela. A pigmentação, que a torna opaca, é a mesma que dá a cor dos olhos. Todas as íris têm os mesmos pigmentos escuros, mas os olhos castanhos têm maior quantidades deles que os azuis.

Assim como a regulação de um microscópio, o cristalino é flexível para permitir ao olho a mudança de foco. Tanto pode ajustar-se para a visão à distância como para a visão próxima, mas não para ambos ao mesmo tempo. A maior parte da tarefa de focalização do olho é feita pela córnea, mas quando o alvo da visão são objetos próximos, torna-se necessário uma refração adicional a fim de produzir imagens nítidas na retina, e para isto, o olho depende do cristalino. Este adapta-se mudando de forma. Quanto mais espesso ele se torna, mais aumenta sua capacidade de convergir os raios luminosos para a visão de perto. Esta capacidade do cristalino de mudar de forma é chamada **acomodação**.

Ao contrário dos telescópios, construídos com precisão científica, a forma dos olhos varia na busca da focalização. A utilização de óculos serve para corrigir o foco imperfeito devido aos problemas de visão como a miopia e a hipermetropia. Se o olho é muito comprido, as imagens distantes incidem na frente da retina, o resultado é a miopia. A hipermetropia ocorre quando o olho é muito curto, e o cristalino e a córnea não têm capacidade suficiente para fazer convergir os raios luminosos dos objetos próximos para dentro da retina.

A idade também afeta o foco. O cristalino torna-se menos flexível a cada ano que passa e reduz sua capacidade de acomodação causando outro problema de visão chamado presbiopia, comumente denominada vista cansada.

Para um melhor entendimento da formação básica do globo ocular e da formação da imagem na retina podemos analisar a figuras:

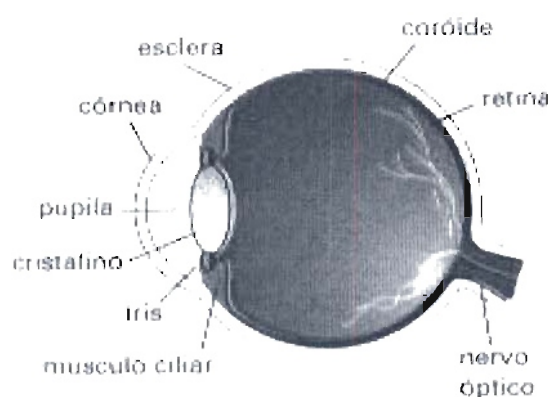


Fig.28(Ueno,2005)

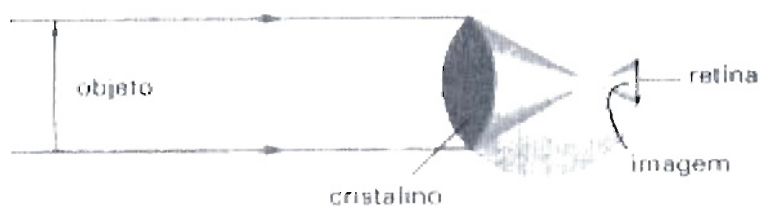


Fig.29(Ueno,2005)

CONCLUSÃO

Conhecer o mundo em que vivemos está bem distante de entendê-lo. O papel do professor é não apenas informar, mas também formar cidadãos capazes de intervir no mundo, seja questionando uma notícia de jornal, seja questionando os mecanismos que levam às injustiças sociais.

Como a física poderá ajudar para essa modificação é o ponto atual de discussão.

Primeiramente devemos mostrar a importância da disciplina para o aluno. Neste trabalho vemos as várias modificações na estrutura de conhecimento até chegar ao estado final, sendo de importância primordial que o aluno saiba que o conhecimento é construído e alterado com conflitos de idéias.

A história serve justamente como ponto de partida para apresentarmos a ciência de maneira mais próxima, mais humanizada e, dessa forma, ***aproximar o professor do aluno*** utilizando a "contação de história" de maneira bem descontraída, buscando sempre desenvolver a criatividade, estimular a descoberta, a capacidade de solução e enriquecer a socialização.

Além da história da ciência, utilizamos neste trabalho de final de curso a demonstração experimental, servindo para mostrar que a física existe e está em nosso dia-a-dia. A demonstração tem o importante papel de ***aproximar a ciência do aluno***.

Com ou sem a característica lúdica, os experimentos devem aliar a imaginação com a realidade, tornando-se imprescindíveis para descobrir a beleza da física e suas aplicações práticas.

A proposta aqui apresentada, apesar de ainda não aplicada, serve como ferramenta para o exercício da licenciatura em física. A inexistência de números que comprovem o efetivo valor de sua aplicabilidade, não o descredencia para utilização por parte dos docentes.

Sem muita inovação, o foco principal deste trabalho é de buscar formas de dinamizar e redimensionar as aulas no Ensino Médio, demonstrando que a física pode e deve ser aplicada em sala de aula de forma menos dogmática, menos regrada e mais reflexiva e prazerosa.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BIZZO, N.M.V. *História da Ciência e Ensino: Onde Terminam os Paralelos*. Em aberto Brasília, ano11, nº55,1992.

CARRON W. E GUIMARÃES O.. *As Faces da Física*, Editora Moderna 2000.

FREIRE, P. *Educação e Mudança*. Editora Paz e Terra, 1990

GASPAR, A.. *Física*. Editora Ática,1.ed., 2000.

GUIMARÃES, L. A. e FONTE BOA, M.. *Física para o 2ª grau*. Editora Harbra, 1.ed.,1998.

HALLIDAY,D., RESNICK,R. e WALKER,J. *Fundamentos da Física Óptica e Física Moderna*. Editora LCT, 6.ed, 2003.

HEWITT, P. G. *Física Conceitual*, 7.ed, Editora Bookman, 2002.

JAFFE, B.. *Michelson e a Velocidade da Luz*. Edart Livraria Editora, 1967.

MÁXIMO, A. e ALVARENGA, B.. *Curso de Física*. Editora Scipione, 5.ed.,2000.

MUELLER, C. G. e RUDOLPH M.. *Luz e visão*. Livraria José Olympio Editora, 1970.

PARÂMETROS Curriculares Nacionais: Ensino Médio. *Ciências da Natureza, Matemática e suas Tecnologias*. Ministério da Educação/Secretaria de Educação Média e Tecnologia, 1999.

ROCHA, J.F. *Origens e Evolução das Idéias da Física*. Editora da UFBA, 2002.

ROSSI, B.. *Óptica Geométrica*. Editora Reverte, 1973

SOCIEDADE BRASILEIRA DE FÍSICA. *Revista de Ensino de Física e A Física na Escola*, 1974-2002.

TIPLER, P.. *Óptica e Física Moderna*. Editora Afiliada, 1995.

UENO, P.. *Física*. Editora Ática, 2005.

VALADARES, E. C. *Física mais que Divertida*. Editora UFMG, 2000.